

PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 : B23K 26/00	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/31315 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 10. Oktober 1996 (10.10.96)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE96/00621 (22) Internationales Anmeldedatum: 9. April 1996 (09.04.96) (30) Prioritätsdaten: 295 05 985.0 6. April 1995 (06.04.95) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): POLIER- WERKSTATT FÜR STAHLFORMEN BESTENLEHRER GMBH (DE/DE); Einsteinstrasse 20-22, D-91066 Herzoge- naurach (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BESTENLEHRER, Alexan- der (DE/DE); Einsteinstrasse 20, D-91066 Herzogenaurach (DE). (74) Anwalt: KUHNEN, WACKER & PARTNER; Alois- Steinecker-Strasse 22, D-85354 Freising (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, ARIPO Patent (KE, LS, MW, SD, SZ, UG), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(54) Title: PROCESS AND DEVICE FOR LASER MACHINING OF ANY 3D SURFACE		
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BEARBEITEN VON BELIEBIGEN 3D-FORMFLÄCHEN MITTELS LASER		
(57) Abstract <p>A process for machining 2D and 3D surfaces using a beam machining device provides that the surface to be machined is scanned and stored in memory as the actual shape. The machining parameters for the beam machining device are calculated on the basis of a stored command shape and the stored actual shape. Once machined, the surface is again scanned and a new actual shape is stored. Calculation of machining parameters and machining of the surface are repeated until the desired surface shape (command shape) has been attained. The process can be used to produce sealing faces on complementary form tools. A device for machining 2D and 3D surfaces using a laser beam comprises a 3D contour measuring device as well as a control system to control the contour measuring device and the laser device.</p>		
(57) Zusammenfassung <p>Ein Verfahren zum Bearbeiten von 2D- und 3D-Formflächen mittels einer Strahlbearbeitungseinrichtung sieht vor, daß die zu bearbeitende Oberfläche abgetastet und als IST-Form gespeichert wird. Die Bearbeitungsparameter für die Strahlbearbeitungseinrichtung werden aufgrund einer gespeicherten SOLL-Form und der gespeicherten IST-Form errechnet. Die dann bearbeitete Oberfläche wird erneut abgetastet und eine neue IST-Form gespeichert. Das Errechnen der Bearbeitungsparameter und die Bearbeitung der Oberfläche wird so lange wiederholt, bis die gewünschte Oberflächenform (SOLL-Form) erreicht wird. Das Verfahren kann zur Herstellung von Dichtflächen an komplementären Formwerkzeugen angewendet werden. Eine Vorrichtung zum Bearbeiten von 2D- und 3D-Formflächen mittels eines Laserstrahles umfaßt eine 3D-Konturmeßeinrichtung sowie eine Steuerung zur Steuerung der Konturmeßeinrichtung und der Lasereinrichtung.</p>		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauritanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BEARBEITEN VON BELIEBIGEN 3D-FORMFLÄCHEN MITTELS LASER

5 Dichtflächen an Formwerkzeugen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten, insbesondere zum Polieren und Strukturieren von beliebigen 3D-Formflächen bzw. Frei-
10 formflächen mittels eines Laser und die Anwendung dieses Verfahrens zur Herstellung von komplementären Dichtflächen an komplementären Formwerkzeugen.

Aus der DE-OS 42 41 527 ist es bekannt, Laserstrahlen, insbesondere gepulste Excimer-Laser zum Glätten von Metalloberflächen zu verwenden. Durch die gepulste Beaufschlagung mit Energiedichten im Bereich von 5×10^7 Watt/cm² wird die Oberfläche des Metalls aufgeschmolzen. Durch die Verwendung eines UV- bzw. Excimer-Lasers geschieht dies nur in den obersten Randbereichen des Metalls bis zu einer Tiefe von 1 bis 2 µm, so daß keinerlei Verformungen oder Risse entstehen und die Metalloberfläche geglättet wird.

25 Aus der DE-OS-42 17 530, der DE-OS-39 22 377, der EP-A-0 419 999 und der US-A-4,825,035 sind Verfahren und Vorrichtungen zum Härten von hochbeanspruchten metallischen Oberflächen, wie z. B. Kolbenlaufflächen, bekannt.

30 Aus der DE-OS 41 33 620 ist es bekannt, metallische Oberflächen mittels Laserstrahl zu strukturieren. Hierbei durchläuft der Laserstrahl Bahnkurven auf der Metalloberfläche, deren Form der gewünschten Strukturierung entspricht.

35

Aus der DE-OS 44 01 597 ist eine Laserbearbeitungs- bzw. Laserschneidvorrichtung bekannt, bei der die zu erzeugende Schnittform in Form von CAD-Daten eingegeben werden kann.

5

Aus der DE-OS 41 06 008 ist ein automatischer Schweißroboter bekannt, bei dem die Qualität der Schweißnähte online über optische Überwachung der Schweißnähte bzw. der Schweißspritzer überwacht wird.

10

Aus der DE-OS-37 11 470 ist ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Modells bekannt, das aus einer Vielzahl von Scheiben zusammengesetzt ist, die die Modellkonturen aufweisen und aus Plattenwerkstoff durch materialabtragende Bearbeitung mittels Laser hergestellt werden. Hierbei wird an einer bestimmten Stelle solange Material abgetragen, bis der SOLL-Wert erreicht ist.

15

Aus der DE-OS-42 19 809 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum kontrollierten Abtragen von Schichten von einer Oberfläche mittels Laser bekannt. Um die Steuerung bzw. Regelung der Abtragung zu vereinfachen wird gewährleistet, daß aufeinanderfolgend bearbeitete Teilflächen immer eine konstante Fläche aufweisen.

20

25

Die aus dem Stand der Technik bekannten Strahl- bzw. Laserbearbeitungsverfahren und -vorrichtungen weisen den Nachteil auf, daß im wesentlichen nur im voraus bekannte Formen damit bearbeitet werden können. Ein großtechnischer Einsatz und das Bearbeiten von beliebigen, kompliziert geformten 3D-Formflächen ist damit jedoch nicht möglich.

30

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten, insbesondere zum Polieren und Strukturieren von Werkstücken zur Verfügung zu

35

stellen, mit der sich beliebige 2D- bzw. 3D-Formflächen bearbeiten lassen. Weiter ist es Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen von komplementären Dichtflächen and komplementären Formwerkzeugen bereitzustellen.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Merkmale des Anspruchs 1, 11 bzw. 16.

10 Dadurch, daß mittels der 3D-Konturmeßeinrichtung zunächst die tatsächliche Oberflächenform und -struktur ermittelt wird, kann der Laserstrahl hinsichtlich Leistung, Abstand vom Werkstück, Bearbeitungsgeschwindigkeit (Geschwindigkeit mit der der Arbeitstrahl über die zu be-
15 arbeitende Oberfläche fährt), Impulsdauer, Impulsfrequenz, Winkel zwischen Oberfläche und optischer Achse des Arbeitstrahls und Anzahl des aufeinanderfolgenden Überstreichens der zu bearbeitenden Oberflächen, so optimiert werden, daß eine gewünschte Rauhigkeit bzw. Glätte
20 erreicht wird. Auf diese Weise ist es nicht nur möglich, die Oberfläche zu glätten bzw. zu polieren, sondern es können auch zusätzlich materialabtragende, die Form bzw. Kontur des Werkstücks verändernde Bearbeitungsschritte zwischengeschaltet werden.

25 Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird erst unmittelbar vor dem Bearbeiten der jeweiligen Teilfläche deren IST-Form ermittelt und mit der Soll-Form verglichen. Wegen der minimalen Zeitdauer zwischen Erfassung der IST-
30 Form und eigentlicher Bearbeitung werden den Materialabtrag oder den Polierprozeß beeinflussende Störungen unwahrscheinlicher. Auch kann dadurch erreicht werden, daß derartige Störungen die Messung der IST-Form und die Bearbeitung der jeweiligen Teilfläche in gleicher Weise be-
35 einflussen, so daß sich die Störungen herausmitteln.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird das erfindungsgemäße Verfahren zur einfachen Herstellung von beliebig geformten, komplementären Dichtflächen an komplementären Formwerkzeugen genutzt. Durch die hohe Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens wird erreicht, daß die aufeinander zu liegen kommenden komplementären Dichtflächen sehr gut zueinander passen und damit sehr gut abdichten.

- 5 Bei einer ersten Variante wird zunächst von den komplementären Teildichtflächenpaaren nur eine Hälfte bearbeitet und die nach der Bearbeitung ermittelte aktualisierte IST-Form wird als SOLL-Form für die zweite Hälfte der Teildichtflächenpaare verwendet. Dadurch werden Fehler bzw. Abweichungen der ersten Hälfte der Teildichtflächenpaare von der SOLL-Form bei der Bearbeitung der zweiten Hälfte der Teildichtflächenpaare ausgeglichen bzw. neutralisiert.
- 10 Bei einer zweiten Variante erfolgt die Bearbeitung der komplementären Teildichtflächen auf einen konstanten Abstand zwischen den komplementären Teildichtflächen hin. Damit lassen sich mit nur einem Satz von SOLL-Daten zwei benachbarte, komplementäre Dichtflächen bearbeiten bzw. herstellen.

- 20 Trägt man den durch einen Laserstrahl verursachten Materialabtrag als Funktion der Laserfluenz auf der zu bearbeitenden Fläche auf, so ergibt sich bei Konstanthaltung anderer Bearbeitungsparameter eine Kurve, die im Bereich niedriger Laserfluenz flach ansteigt, im Bereich mittlerer Laserfluenz stark ansteigt und im Bereich hoher Laserfluenz wieder flacher ansteigt. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Laser in den Bereichen mit flachem Anstieg betrieben, da sich dort geringfügige Fluenzschwankungen kaum auf den Materialabtrag

auswirken, so daß sich glatte, gleichmäßige Oberflächen ergeben.

5 Beim Laserpolieren von Werkstücken wird vorzugsweise der flache Bereich der Kurve bei niedriger Laserfluenz genutzt, da beim Laserpolieren kein Abtrag erwünscht ist.

10 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt die Strahlbearbeitungseinrichtung eine Optik mit großer Rayleighlänge, vorzugsweise von 300 µm und mehr. Dadurch wird erreicht, daß kleine Änderungen des Abstandes zwischen Optik und Werkstück um die Brennweite herum aufgrund von Vibrationen und Zittern der Roboterarme lediglich zu vernachlässigbaren Schwankungen der Strahl-
15 fluenz auf der Werkstückoberfläche führen.

Dadurch, daß die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Konturmeßeinrichtung umfaßt, die die IST-Form der zu bearbeitenden Teilfläche unmittelbar vor dem Bearbeiten auf-
20 nimmt, können die Bearbeitungsparameter gezielt und zeitnah gesteuert werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist ein zweites 3D-Konturmeßgerät vorgesehen, das dem Laserstrahl nach-
25 läuft. Damit kann im Sinne einer Qualitätskontrolle festgestellt werden, ob z. B. die Laserpolierung mit ausreichender Verringerung der Rauigkeit durchgeführt worden ist oder nicht. Zusätzlich können die Meßdaten dieses nachlaufenden Konturmeßgeräts auch dazu verwendet werden,
30 die Strategie hinsichtlich eines mehrmaligen Überstreichens der zu polierenden Fläche mit dem Laserstrahl zu optimieren.

Die Konturmeßeinrichtungen können die Form durch optische
35 Abtastung, z. B. Triangulation, oder durch mechanische Abtastung ermitteln.

Die übrigen Unteransprüche beziehen sich auf weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

- 5 Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einer beispielhaften Ausführungsform anhand der Zeichnung. Es zeigt:
- 10 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer beispielhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsvorrichtung,
- Fig. 2 ein Detail der Ausführungsform nach Fig. 1,
- 15 Fig. 3 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Arbeitsweise einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung,
- 20 Fig. 4 ein Flußdiagramm zur Veranschaulichung einer bevorzugten Variante des erfinderischen Verfahrens,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Formwerkzeuges mit zwei komplementären Teilen,
- 25 Fig. 6 ein Flußdiagramm zur Erläuterung einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens zur Herstellung von Dichtflächen gemäß der vorliegenden Erfindung,
- 30 Fig. 7 eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens zur Herstellung von Dichtflächen,
- 35 Fig. 8 eine qualitative Darstellung des Materialabtrags als Funktion der Laserfluenz, und

Fig. 9a und 9b Abbildungsoptiken mit großer und kleiner Rayleighlänge.

- 5 Die in Fig. 1 gezeigte beispielhafte Ausführungsform der Laserbearbeitungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt eine Lasereinrichtung 2 bestehend aus einem Laserkopf 3 und einer Laserstrahlerzeugungseinrichtung 4 mit zugehöriger Steuereinrichtung 6, durch die
- 10 sich Bearbeitungsparameter, wie z. B. Pulsfrequenz, Pulsdauer, Fokussierungsgrad, Vorschub, etc. des Arbeits- bzw. Laserstrahls 5 einstellen und steuern bzw. regeln lassen. Die Laserstrahlerzeugungseinrichtung 4 ist über ein Lichtleitkabel 7 mit dem Laserkopf 3 verbunden. Der
- 15 Laserkopf 3 ist an einer Laserkopfhalterung 8 befestigt, die Teil einer XYZ-Positioniereinrichtung 10 ist. Der Laserkopf 3 umfaßt auch eine Abbildungsoptik bzw. Fokussiereinrichtung 12, durch die der aus dem Laserkopf 3 austretende Laserstrahl 5 auf der zu bearbeitenden Oberfläche eines Werkstücks 14 fokussiert wird. Auf diese
- 20 Weise läßt sich der Laserkopf 3 und damit der aus dem Laserkopf 3 austretende Laserstrahl 5 in allen drei Raumrichtungen X, Y und Z bewegen und positionieren.
- 25 Mit dem Laserkopf 3 verbunden sind auch Meßsensoren 16, mittels denen sich die die Kontur der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks 14, beispielsweise durch Triangulation, unmittelbar vor dem Überstreichen des Laserstrahls 5 und unmittelbar nach dem Überstreichen des
- 30 Laserstrahls 5 ermitteln läßt. Auf diese Weise wird unmittelbar während der Bearbeitung das Ergebnis der Bearbeitung mit dem Laserstrahl 5 überprüft und die Anzahl des Überstreichens der 3D-Formfläche mit dem Laserstrahl 5 kann entsprechend dem gewünschten Arbeitsergebnis opti-
- 35 miert werden.

Die Steuerung der gesamten Anlage erfolgt durch die Steuereinrichtung 6, durch die sowohl die Lasereinrichtung 2, bestehend aus Laserkopf 3 und Laserstrahlerzeugungseinrichtung 4, als auch die Positioniereinrichtung 10 und Meßsensoren 16 gesteuert und geregelt werden. Die Steuereinrichtung 6 bildet zusammen mit den Meßsensoren 16 eine 2D- bzw. 3D-Konturmeßeinrichtung 18. Bei der Steuereinrichtung 6 handelt es sich beispielsweise um einen Mikrocomputer mit einer Massenspeichereinrichtung. In diese Speichereinrichtung können beispielsweise CNC-Daten des zu bearbeitenden Werkstücks 14 eingespeichert werden. Mit der Konturmeßeinrichtung 18 kann damit die Soll-Ist-Abweichung erfaßt werden und die Anzahl der Bearbeitungsschritte und ebenso die Laserstrahlcharakteristiken entsprechend eingestellt werden.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung mit der Laserstrahlerzeugungseinrichtung 4, der Steuereinrichtung 6 und der Abbildungsoptik 12 aus der der Laserstrahl 5 austritt und auf die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks 14 auftritt, das als Konturlinie 20 (IST-Form) dargestellt ist. Strichliert ist die SOLL-Form 22 dargestellt. Die Konturmeßeinrichtung 18 ist hier in die Abbildungsoptik 12 integriert und der Arbeitsstrahl 5 wird gleichzeitig als Meßstrahl für die Konturmeßeinrichtung 18 verwendet. Durch die Steuereinrichtung 6 läßt sich mittels nicht näher dargestellter Stellantriebe der Abstand zwischen Abbildungsoptik 12 und der Werkstückoberfläche 20 variieren, was durch einen Doppelpfeil 24 angedeutet ist. Ebenfalls mit der Steuereinrichtung 6 und entsprechender Stellantriebe wird auch der Vorschub bezüglich des Werkstücks 14 bewirkt und gesteuert. Dies ist durch ein Pfeil 26 dargestellt. Wie aus Fig. 3 zu ersehen ist, wird der Übergang von der IST-Form 20 zur SOLL-Form 22 nicht notwendigerweise mit einem einmaligen Überstreichen des

Laserstrahls 5 erreicht. In dem bereits überstrichenen Bereich 28 ist immer noch eine Abweichung zwischen SOLL- und IST zu sehen.

5 Fig. 4 zeigt ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens mit dem die Oberfläche eines Werkstücks 14 von der IST-Form in die SOLL-Form überführt wird. In einem Schritt S1 wird zunächst in einem Referenzkoordinatensystem die gewünschte SOLL-Form festgelegt. Die SOLL-Form
10 kann beispielsweise in Form von CNC- oder CAD-Daten vorliegen. In einem Schritt S2 wird dann die IST-Form des noch unbearbeiteten oder vorbearbeiteten Werkstücks 14 ermittelt und in Koordinaten des Referenzkoordinatensystems dargestellt. In einem Schritt S3 wird abgefragt,
15 ob der IST-Wert an der zu bearbeitenden Teilfläche des Werkstücks 14 bereits mit dem SOLL-Wert übereinstimmt oder nicht. Ist dies der Fall wird in einem Schritt S4 abgefragt, ob bereits alle Teilflächen bearbeitet sind oder nicht. Ist dies der Fall, ist die Bearbeitung beendet.
20 Sind noch nicht alle Teilflächen bearbeitet, so erfolgt in einem Schritt S5 der Übergang zur nächsten Teilfläche und die Bearbeitung beginnt wieder bei Schritt S2.

Ergibt die Abfrage in Schritt S3 ein NEIN, so wird zu
25 einem Schritt S6 verzweigt, in dem aufgrund des Vergleichs von SOLL- und IST-Daten, aufgrund externer Eingaben über das zu bearbeitende Material, etc. die Bearbeitungsparameter für den Laser 2 und die Strategie der Bearbeitung ermittelt wird. In einem Schritt S7 wird dann
30 die Laserbearbeitung der jeweiligen Teilfläche entsprechend den in Schritt S6 ermittelten Parametern ausgeführt. Anschließend wird zurück zu dem Schritt S2 verzweigt.

35 Fig. 5 zeigt schematisch ein Formwerkzeug 30, das aus zwei komplementären Teilen 32 und 33 besteht. Die beiden

Teile 32 und 33 lassen sich zusammenfügen und der von ihnen dann umschlossene Hohlraum wird dann durch zwei komplementäre Teildichtflächen 34 und 36 abgedichtet. Die Teildichtflächen 34 und 36 können nahezu beliebig geformt
5 sein.

Fig. 6 zeigt ein Flußdiagramm zur Erläuterung der Herstellung der Dichtflächen 34 und 36 mit dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung. In einem Schritt S1' wird
10 zunächst die SOLL-Form von nur einer der beiden Teildichtflächen, beispielsweise der Teildichtfläche 34, festgelegt. Anschließend erfolgt die Bearbeitung gemäß den Schritten S2 bis S7 nach Fig. 4. Ist die erste Teildichtfläche 34 vollständig bearbeitet, so wird in einem
15 Schritt S8 die nach Bearbeitung vorliegende IST-Form der ersten Teildichtfläche 34 als SOLL-Form für die zweite Teildichtfläche 36 festgelegt. Die Bearbeitung der zweiten Teildichtfläche 36 erfolgt dann wiederum analog den Schritten S2 bis S7 gemäß Fig. 4.

20 Fig. 7 zeigt schematisch einen Schnitt durch einen Teil der Teile 32 und 33 des Formwerkzeugs 30 bzw. einen Schnitt durch einen Teil der Teildichtflächen 34 und 36, wobei Bereiche 38 und 39 vergrößert dargestellt sind. Die
25 beiden Teile 32 und 33, genauer deren Teildichtflächen 34 und 36 sind mit einem Abstand D voneinander entfernt angeordnet. Aufgrund der Rauigkeit der vorbearbeiteten Teildichtflächen 34 und 36 variiert der tatsächliche Abstand D_i (IST-Abstand) zwischen einander gegenüberliegenden
30 Flächenelementen der Teildichtflächen 34 und 36. Die beiden Formwerkzeugteile 32 und 33 werden in festem Abstand zueinander räumlich fixiert und der IST-Abstand D_i zwischen einander gegenüberliegenden Flächenelementen der Teildichtflächen 34 und 36 wird gemessen. Anschließend
35 wird der SOLL-Abstand D_s festgelegt und die beiden Teildichtflächen 34 und 36 werden mit dem Laser derart bear-

beitet, daß innerhalb der Toleranzen $D_1 = D_2$ ist. Ist diese Bedingung erfüllt, weisen die beiden Teildichtflächen die gewünschte SOLL-Form 34' und 36' auf.

- 5 In Fig. 8 ist der durch den Laserstrahl 5 verursachte Materialabtrag A in μm als Funktion der Laserfluenz (Leistungsdichte mal Bestrahlungszeit) in J/cm^2 aufgetragen. Es ergibt sich ein Kurvenverlauf in der Form eines langgezogenen S mit einem flachen Kurvenverlauf im Bereich geringer Laserfluenz, Bezugszeichen 40, und im Bereich hoher Laserfluenz, Bezugszeichen 42, und einem steilen Kurvenverlauf im Bereich mittlerer Laserfluenz, Bezugszeichen 41. Die in Fig. 8 angegebenen Werte gelten für einen Kupferdampf Lasersystem, wie er aus der DE-
10 OS 44 12 443 bekannt ist und auf die hier vollinhaltlich bezug genommen wird. Für einen solchen Kupferdampf Laser und Aluminium als zu bearbeitendem Material endet der Bereich 40 bzw. beginnt der Bereich 41 bei ca. $1 \text{ J}/\text{cm}^2$ und das Ende des Bereichs 41 bzw. der Beginn des Bereichs 42 liegt bei ca. $250 \text{ J}/\text{cm}^2$. Bis zu einer Laserfluenz von ungefähr $1 \text{ J}/\text{cm}^2$ liegt der Aluminiumabtrag im Bereich von $1 \mu\text{m}$, Bereich 40, und im Bereich 42 mit einer Laserfluenz über $250 \text{ J}/\text{cm}^2$ liegt der Aluminiumabtrag bei ca. $80 \mu\text{m}$.
20
25 Der Laser 2 wird erfindungsgemäß in den Bereichen 40 und 42 mit flachem Kurvenverlauf betrieben, da dort geringe Fluenzschwankungen, wie sie beispielsweise durch Variationen des Abstands zwischen Laserkopf 3 und zu bearbeitender Fläche aufgrund von Vibrationen auftreten, sich
30 kaum auf die Größe des Materialabtrags auswirken. Folglich ist eine kontrollierte und genaue Formgebung einfacher. Der Bereich 40 mit niedriger Laserintensität ist insbesondere beim Laserpolieren vorteilhaft, da beim Laserpolieren ein großer Materialabtrag nicht gewünscht
35 ist.

Eine weitere Maßnahme, um die Lasereinrichtung 2 unempfindlicher gegenüber Lage- bzw. Positionsschwankungen zu machen, wie sie bei Roboterarmen unweigerlich auftreten, wird anhand von Fig. 9a und 9b erläutert. Hierzu wird in
5 der Lasereinrichtung 2 eine Fokussiervorrichtung bzw. eine Abbildungsoptik 12 verwendet, die eine große Rayleighlänge, vorzugsweise $\geq 300 \mu\text{m}$ aufweisen. Bekanntlich ist bei realen optischen Systemen der Brennpunkt B
kein idealer mathematischer Punkt, sondern ein Raumbe-
10 reich. Die Rayleighlänge ist ein Maß für die Variation des Querschnitts des Strahlenbündels im Bereich des geometrischen Brennpunkts. Je kleiner die Rayleighlänge ist, desto mehr stimmt das reale Strahlenbündel mit dem geometrischen Strahlengang überein.

15 Fig. 9a zeigt eine Optik 12 mit großer Rayleighlänge und Fig. 9b eine Optik 12' mit kleiner Rayleighlänge. Variiert in beiden Fällen der Abstand zwischen Abbildungsoptik 12, 12' und zu bearbeitender Fläche um den Brennpunkt B um ΔD , so schwankt bei kleiner Rayleighlänge -
20 Fig. 9b - die Querschnittsfläche F des Strahlenbündels im Bereich zwischen $+\Delta D$ und $-\Delta D$ und damit die Laserintensität erheblich mehr als bei großer Rayleighlänge - Fig. 9a. Eine Lasereinrichtung 2 mit einer Abbildungsoptik 12
25 mit großer Rayleighlänge ist daher unempfindlicher gegenüber Vibrationsschwankungen.

Ansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten, insbesondere zum Polieren und Strukturieren, von beliebigen 2D- und 3D-Formflächen eines Werkstücks mittels einer Strahlbearbeitungseinrichtung, mit den Verfahrensschritten:

- 10 a) Abtasten der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks mittels einer 3D-Konturmeßeinrichtung zum Bestimmen der genauen, tatsächlichen Oberflächenform des zu bearbeitenden Werkstücks in einem Referenzkoordinatensystem (IST-Daten, IST-Form);
- 15 b) Festlegen der dreidimensionalen Koordinaten der herzustellenden 2D- bzw. 3D-Formfläche in dem Referenzkoordinatensystem (SOLL-Daten, SOLL-Form);
- 20 c) Errechnen von Bearbeitungsparametern für die Strahlbearbeitungseinrichtung aufgrund der in b) festgelegten SOLL-Daten und aufgrund der durch die 3D-Konturmeßeinrichtung in a) ermittelten IST-Daten;
- 25 d) Sukzessives Bearbeiten von aneinander angrenzenden Teilflächen mit der Strahlbearbeitungseinrichtung auf der Basis der in Schritt c) ermittelten Bearbeitungsparameter;
- 30 e) erneutes Abtasten der in Schritt d) bearbeiteten Teilflächen mittels der 3D-Konturmeßeinrichtung zum Bestimmen der nunmehr nach der Bearbeitung vorliegenden Oberflächenform des Werkstücks (aktualisierte IST-Daten); und
- 35 f) gegebenenfalls Wiederholung der Schritte c) bis e) bis die gewünschte Oberflächenform (SOLL-Form) erreicht ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dg, daß in Schritt f) die Schritte c) bis e) solange wiederholt werden, bis die Abweichung der SOLL-Daten von den IST-Daten innerhalb eines ersten Toleranzbereiches liegt.

3. Verfahren zur Herstellung von Dichtflächen an komplementären Formwerkzeugen mit wenigstens zwei komplementären Teildichtflächen, mit folgenden Verfahrensschritten:

a) Abtasten der Teildichtflächen der Formwerkzeuge mittels einer 3D-Konturmeßeinrichtung zum Bestimmen der genauen, tatsächlichen Oberflächenform der Teildichtflächen der Formwerkzeuge in einem Referenzkoordinatensystem (IST-Daten);

b) Festlegen der dreidimensionalen Koordinaten der Teildichtflächen der Formwerkzeuge in dem Referenzkoordinatensystem (SOLL-Daten);

c) Errechnen von Bearbeitungsparametern für eine Strahlbearbeitungseinrichtung zum Abtragen von Materialschichten aufgrund der ermittelten SOLL-Daten und aufgrund der durch die 3D-Konturmeßeinrichtung ermittelten IST-Daten;

d) Bearbeiten der Teildichtflächen mit der Strahlbearbeitungseinrichtung auf der Basis der in Schritt c) ermittelten Bearbeitungsparameter;

e) erneutes Abtasten der in Schritt d) bearbeiteten Teildichtflächen mittels der 3D-Konturmeßeinrichtung zum Bestimmen der nunmehr nach der Bearbeitung vorliegenden Oberflächenform der Teildichtflächen (aktualisierte IST-Daten);

- f) gegebenenfalls Wiederholung der Schritte c) bis e) bis die Abweichung der SOLL-Daten von den IST-Daten innerhalb eines ersten Toleranzbereiches liegt.

5

4. Verfahren nach Anspruch 3, dg,

daß in Schritt b) zunächst nur die SOLL-Form einer der komplementären Teildichtflächen festgelegt wird,

10

daß in Schritt d) zunächst nur die eine der komplementären Teildichtflächen bearbeitet wird,

daß anschließend in einem Schritt b') die in Schritt e) ermittelte aktualisierte IST-Form der bereits bearbeiteten Teildichtfläche als SOLL-Form für die zugehörige komplementäre Teildichtfläche festgelegt wird, und

15

daß diese zugehörige komplementäre Teildichtfläche entsprechend den Schritten c) bis f) bearbeitet wird.

20

5. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch

25

- a1) Anordnen der komplementären Formwerkzeuge derart, daß der Abstand einander entsprechender Flächenabschnitte der Teildichtflächen innerhalb eines zweiten Toleranzbereichs liegt, wobei der zweite Toleranzbereich größer als der erste Toleranzbereich ist;

30

- a2) Bestimmen des genauen Abstands einander entsprechender Flächenabschnitte der Teildichtflächen mittels der 3D-Konturmeßeinrichtung (IST-Daten);

35

- b") Festlegen eines SOLL-Abstandes, der mindestens so groß wie der größte IST-Abstand ist; und
- 5 d") Bearbeiten wenigstens einer der komplementären Teildichtflächen.
6. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 3 bis 5, dg, daß die Querschnittsfläche
10 des auf der zu bearbeitenden Teildichtfläche auftreffenden Arbeitsstrahls die Teildichtfläche in ihrer gesamten Breite überdeckt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
15 dg, daß die Schritte a) und b) vertauscht sind.
8. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dg, daß die Strahlbearbeitungseinrichtung in einem Bereich betrieben wird, in dem die
20 Änderungen des Materialabtrags aufgrund von Schwankungen der Strahlintensität möglichst gering sind.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dg, daß die
25 Strahlbearbeitungseinrichtung beim Laserpolieren in einem Bereich mit geringer Laserintensität betrieben wird.
10. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden
30 Ansprüche, dg, daß die Strahlbearbeitungseinrichtung eine Fokussiervorrichtung umfaßt, die einen fokussierten Bearbeitungsstrahl mit einer Rayleighlänge über ??? erzeugt.

11. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dg, daß die 3D-Konturmeßeinrichtung mit Triangulation arbeitet.
- 5 12. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dg, daß die Strahlbearbeitungseinrichtung einen Laserstrahl als Arbeitsstrahl erzeugt.
- 10 13. Verfahren nach Anspruch 12, dg, daß die Strahlbearbeitungseinrichtung einen gepulsten Laserstrahl erzeugt.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dg, daß der Arbeitsstrahl der Strahlbearbeitungseinrichtung als Meßstrahl der 3D-Konturmeßeinrichtung verwendet wird.
- 15 15. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dg, daß Arbeitsstrahl senkrecht zu der zu bearbeitenden Oberfläche ausgerichtet wird.
- 20 16. Vorrichtung zum Bearbeiten, insbesondere zum Polieren und Strukturieren, von beliebigen 3D-Formflächen mittels eines Laserstrahls, mit:
- 25 einer Lasereinrichtung (2) zum Erzeugen eines Laserstrahls (5) mit bestimmten Charakteristiken;
- 30 einer Einrichtung (7, 8, 10) zum Führen und Leiten des Laserstrahls (5) derart, daß zeitlich aufeinanderfolgend Teilflächen der zu polierende Fläche durch den Laserstrahl (5) überstrichen werden;
- 35 einer ersten 3D-Konturmeßeinrichtung (18) zum Abtasten und Aufnehmen des 3D-Profils der zu bearbeitenden 3D-Formfläche durch Abtasten der von

dem Laserstrahl (5) überstrichenen Teilflächenbereiche unmittelbar vor dem die zu bearbeitende Teilfläche überstreichenden Laserstrahl (5); und

5

einer Steuereinrichtung (6) zur Steuerung der 3D-Konturmeßeinrichtung (18) und zur Steuerung und Regelung der Lasereinrichtung (2) und der Einrichtung (7, 8, 10) zum Führen und Leiten des Laserstrahls (5) in Abhängigkeit des von der 3D-Konturmeßeinrichtung (18) erfaßten 3D-Profils.

10

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (6) eine Speichereinrichtung umfaßt, in der das Soll-3D-Profil (22), der zu bearbeitenden Formfläche (14) beispielsweise in Form von CNC-Daten gespeichert ist.

15

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, gekennzeichnet durch eine zweite 3D-Konturmeßeinrichtung (18) zum Abtasten und Aufnehmen des 3D-Profils der zu bearbeitenden 3D-Freiformfläche durch Abtasten der von dem Laserstrahl (5) überstrichenen Teilflächenbereiche unmittelbar nach dem die zu bearbeitende Teilfläche überstreichenden Laserstrahl (5).

20

25

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßergebnisse der zweiten 3D-Konturmeßeinrichtung (18) der Steuereinrichtung (6) zur Steuerung und Regelung der Lasereinrichtung (2) und der Einrichtung (7, 8, 10) zum Führen und Leiten des Laserstrahls (5) zugeführt werden.

30

20. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die

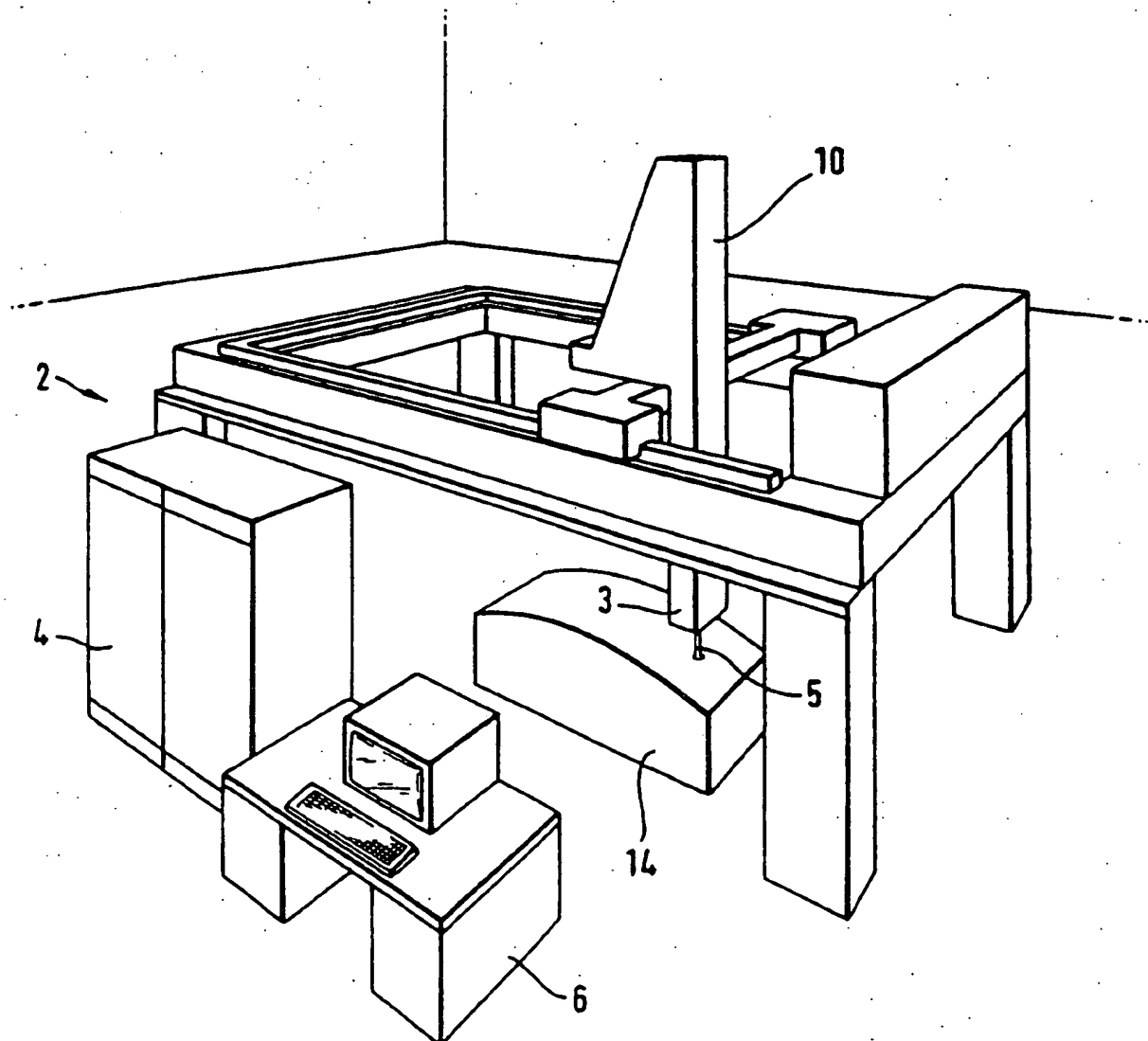
35

Lasereinrichtung (2) einen gepulsten Laserstrahl erzeugt.

21. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Lasereinrichtung (2) einen UV-Laserstrahl erzeugt.
22. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Lasereinrichtung (2) einen Excimerlaser umfaßt.
23. Vorrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Lasereinrichtung (2) eine Cu-Dampf-Laserablations-einrichtung ist.

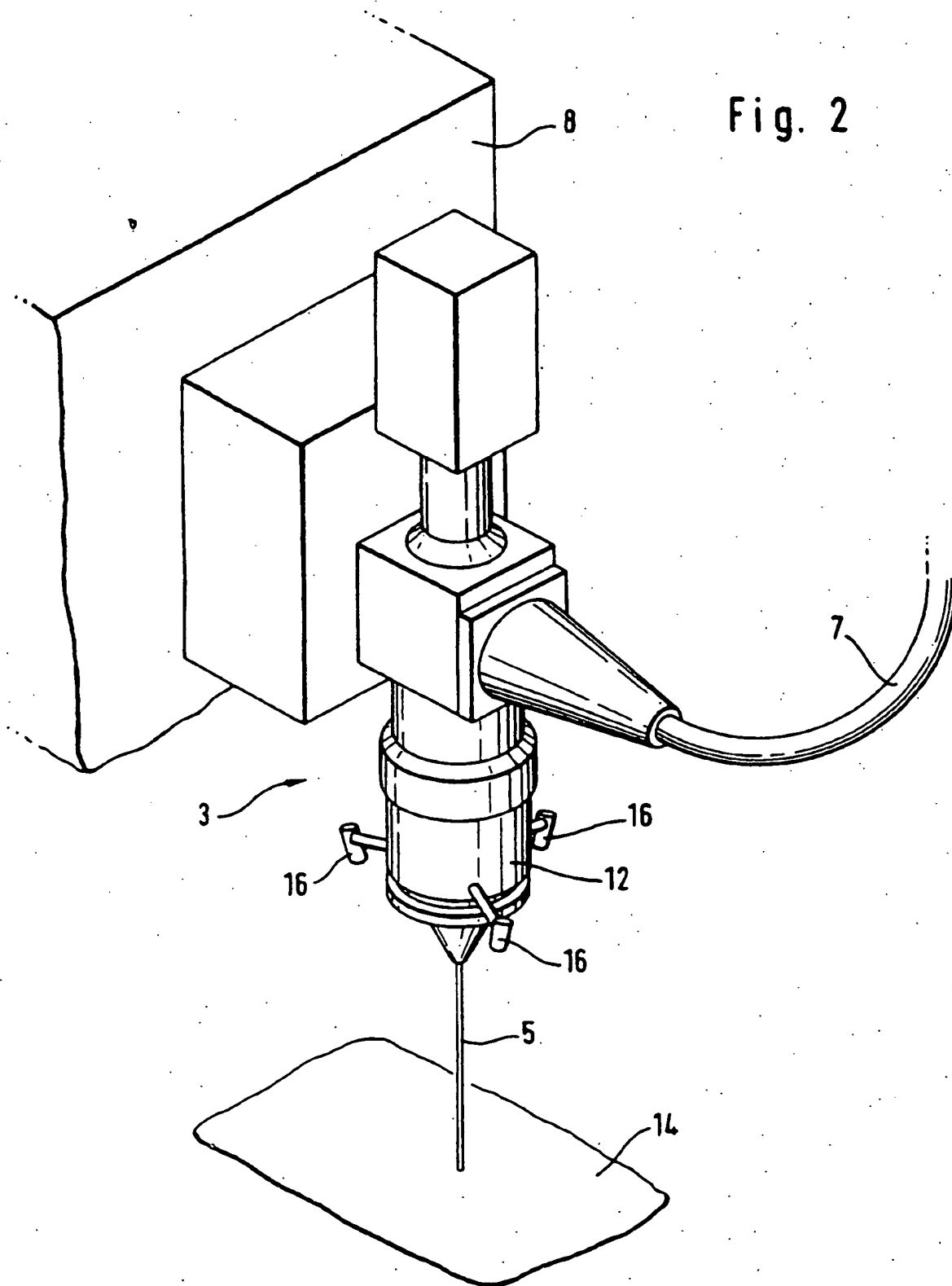
1 / 7

Fig. 1



2 / 7

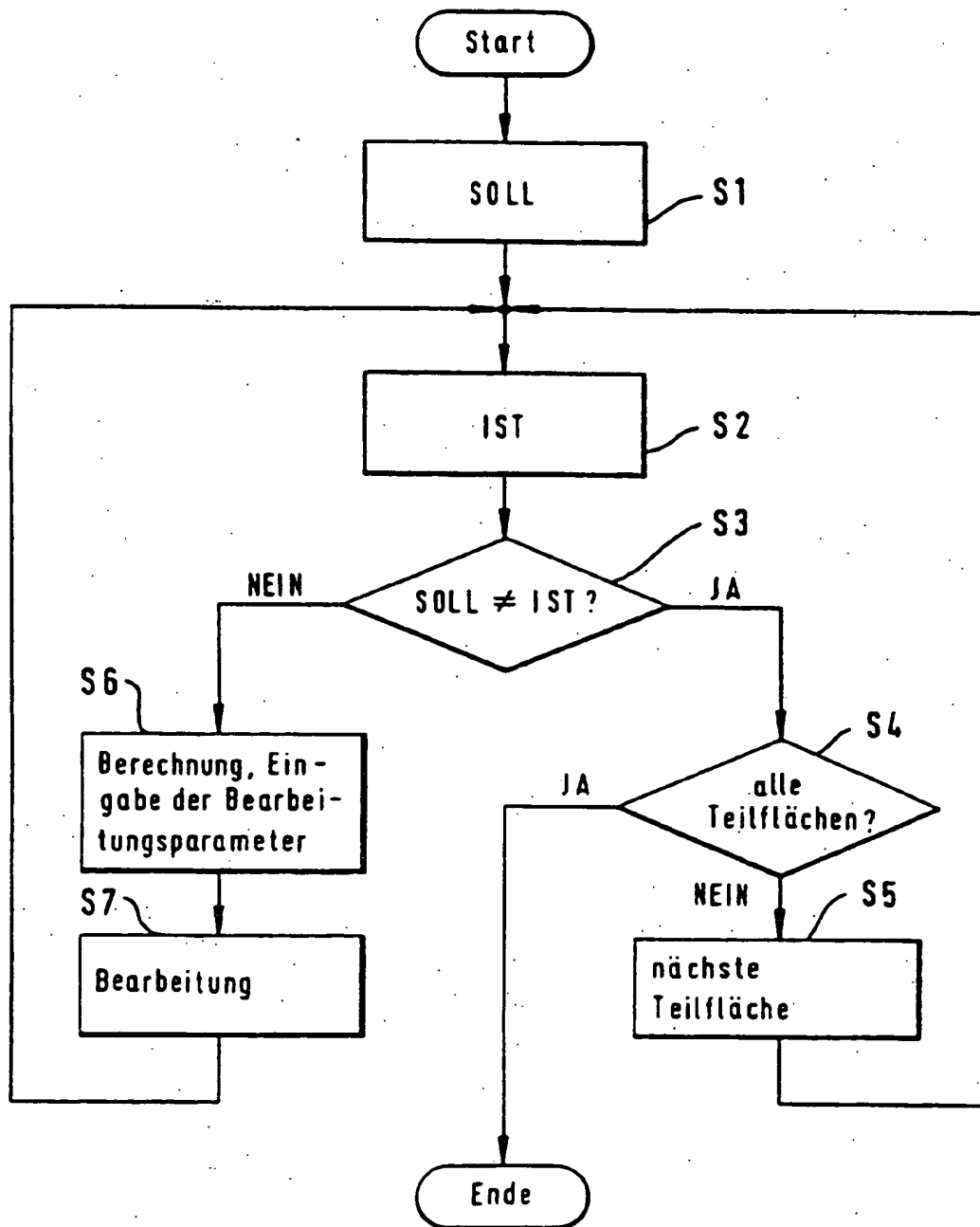
Fig. 2



ERSATZBLATT (REGEL 26)

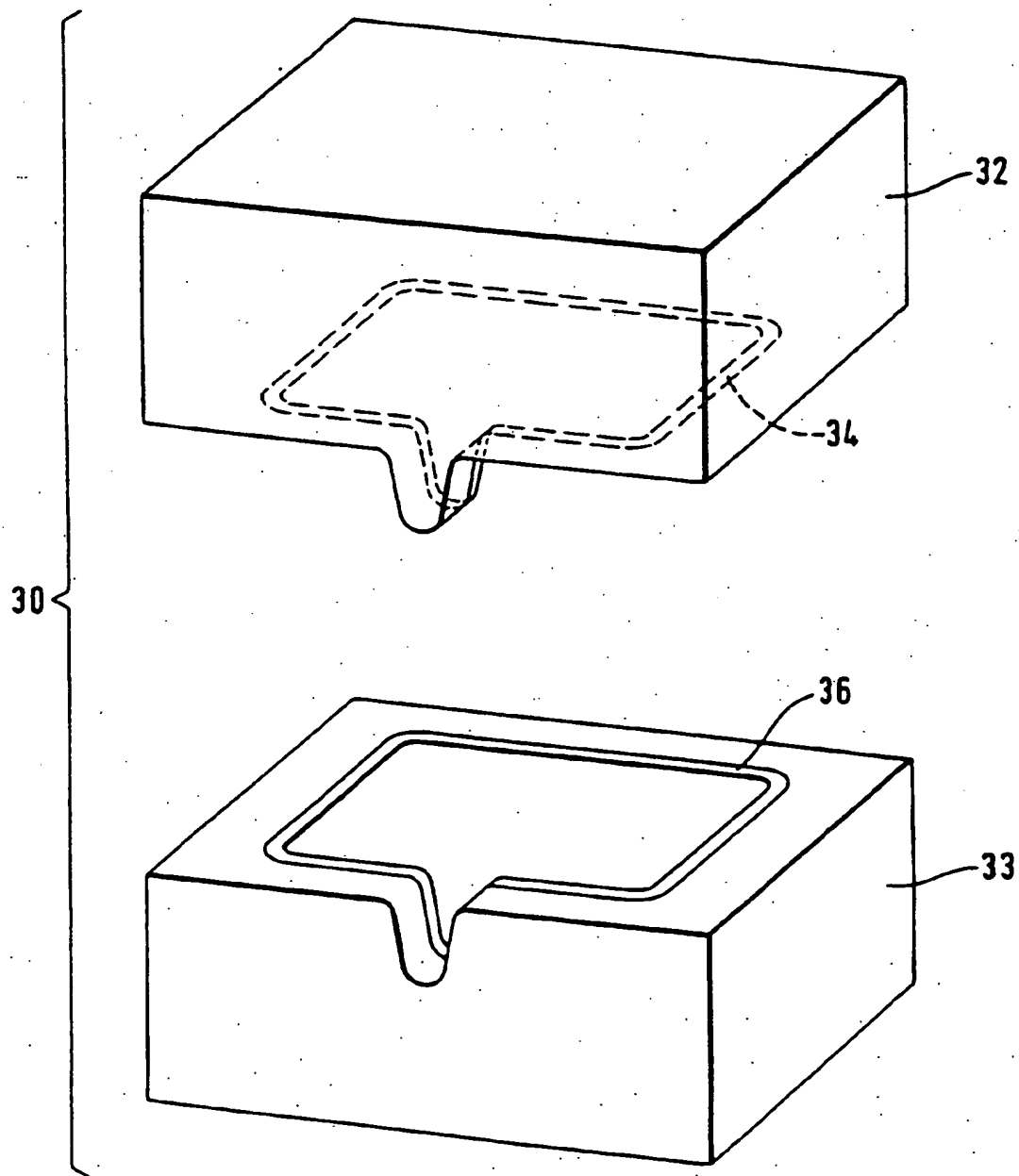
4 / 7

Fig. 4



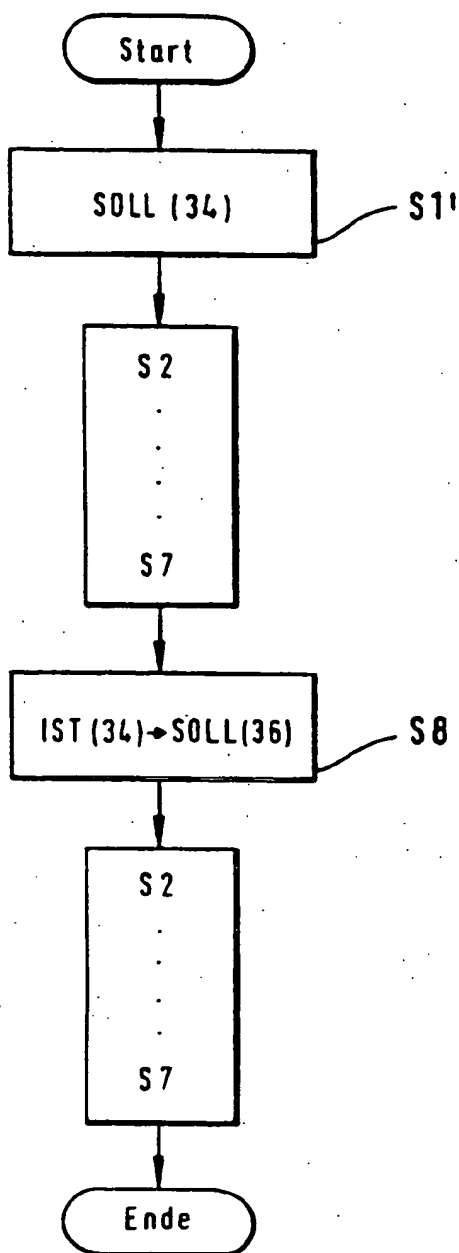
5 / 7

Fig. 5



6 / 7

Fig. 6



717

Fig. 8

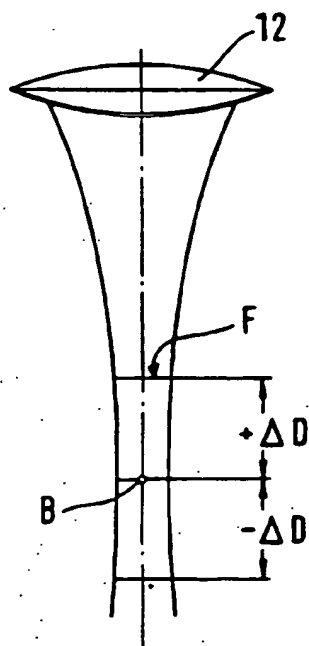
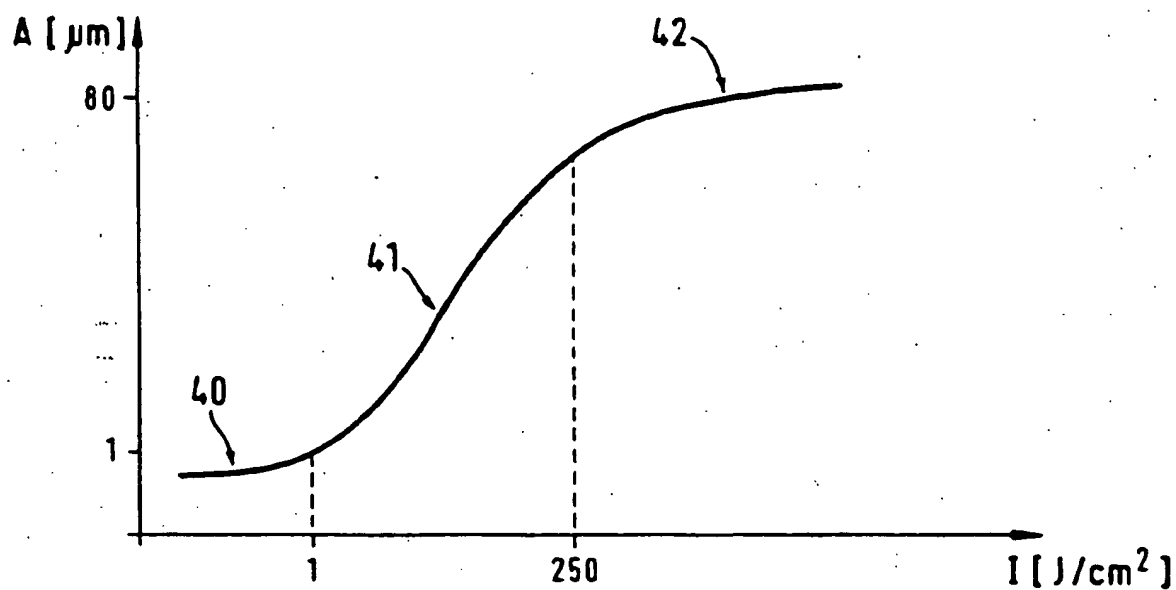


Fig. 9a

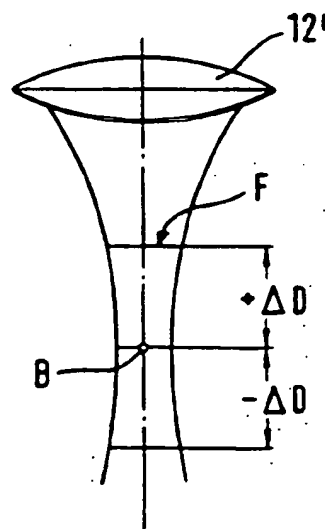


Fig. 9b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 96/00621

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 B23K26/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US,A,4 986 664 (LOVOI PAUL A) 22 January 1991	1-3, 6-13, 15-23
Y	see column 7, line 15 - column 8, line 18; claim 12; figures 1,2 see column 4, line 39 - line 52	14
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 340 (M-740), 13 September 1988 & JP,A,63 101092 (TOSHIBA CORP), 6 May 1988,	16
Y	see abstract	14
A	US,A,4 977 512 (NAKAGAWA RYOJI) 11 December 1990 see claims 1,2; figures 1,2	1,3,16

-/--

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 July 1996

Date of mailing of the international search report

09.08.96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pricolo, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 96/00621

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE, A, 37 11 470 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT EV) 27 October 1988 cited in the application see figure 4	1, 3, 16
A	--- A. DONGES, R. NOLL : "Lasermesstechnik: Grundlagen und Anwendungen" 1993, HÜTHIG BUCH VERLAG, HEIDELBERG XP002009312 see page 26 - page 30 see page 214 - page 215 -----	10, 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 96/00621

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-4986664	22-01-91	US-A- 4588885 US-A- 4737628	13-05-86 12-04-88
US-A-4977512	11-12-90	JP-C- 1868482 JP-A- 63192580	26-08-94 09-08-88
DE-A-3711470	27-10-88	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 96/00621

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 B23K26/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter das recherchierte Gebiet fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US,A,4 986 664 (LOVOI PAUL A) 22.Januar 1991	1-3, 6-13, 15-23 14
Y	siehe Spalte 7, Zeile 15 - Spalte 8, Zeile 18; Anspruch 12; Abbildungen 1,2 siehe Spalte 4, Zeile 39 - Zeile 52	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 340 (M-740), 13.September 1988 & JP,A,63 101092 (TOSHIBA CORP), 6.Mai 1988,	16
Y	siehe Zusammenfassung	14
A	US,A,4 977 512 (NAKAGAWA RYOJI) 11.Dezember 1990 siehe Ansprüche 1,2; Abbildungen 1,2	1,3,16
	--- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen aus der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die dem allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelsfrei erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie angeführt)

"P" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindungsmäßiger Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindungsmäßiger Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25.Juli 1996

Abmeldedatum des internationalen Recherchenberichts

09.08.96

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5318 Patentlaan 2
NL - 2200 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 631 epo nl,
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bevollmächtigter

Pricolo, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 96/00621

C(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE,A,37 11 470 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT EV) 27.Oktober 1988 in der Anmeldung erwähnt siehe Abbildung 4 ---	1,3,16
A	A. DONGES, R. NOLL : "Lasermesstechnik: Grundlagen und Anwendungen" 1993, HÜTHIG BUCH VERLAG, HEIDELBERG XP002009312 siehe Seite 26 - Seite 30 siehe Seite 214 - Seite 215 -----	10,11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 96/00621

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-4986664	22-01-91	US-A- 4588885	13-05-86
		US-A- 4737628	12-04-88
US-A-4977512	11-12-90	JP-C- 1868482	26-08-94
		JP-A- 63192580	09-08-88
DE-A-3711470	27-10-88	KEINE	